

Les textures en fleur des grenats de la région du Binntal – Val Formazza (Valais, Piémont)

par Elisabeth Carrupt¹

Bull. Murithienne 121 : 43-50

ZUSAMMENFASSUNG

Die Oberflächenstrukturen der Granatsteine des Binntals und des Pomatt/Val Formazza (Wallis, Piemont)

Im Binntal und im Pomatt haben sich in den Granatsteinen in der Sedimentendecke des Monte Leone ungewöhnliche Texturen erhalten. Während die Sedimente bis zu drei übereinander gelagerte Schieferungen aus der Zeit der alpinen Gebirgsbildung verzeichnen, haben die Granatsteine die unverformte Texturen beibehalten und die Granatreichengesteine zeigen keine Schieferungen.

Schlüsselwörter Sedimentendecke des Monte Leone, Binntal, Val Formazza, Wallis, Piemont, Granatsteine

RÉSUMÉ

Les textures en fleur des grenats de la région du Binntal – Val Formazza (Valais, Piémont)

Alors que les roches sédimentaires de la couverture de la nappe du Monte Leone ont enregistré jusqu'à trois schistosités pénétratives superposées contemporaines de l'orogénèse alpine, les grenats ont préservé des textures inhabituelles non déformées, plus anciennes, appelées textures en fleur.

Les grenatites, roches composées essentiellement de grenats, n'ont également pas été déformées par les contraintes alpines.

Mots clés

Nappe du Monte Leone, Binntal, Val Formazza, Valais, Piémont, grenats, grenatites



INTRODUCTION

La collision alpine a provoqué un empilement de roches, initialement côte à côte, qui a atteint localement 50 kilomètres d'épaisseur. Les roches, qui se sont retrouvées à la base ou au milieu de cet empilement, ont subi des conditions de pression et de température (conditions P-T) supérieures à celles qui règnent en surface. Or, lorsqu'une roche subit des modifications de P-T, sa composition minéralogique et sa texture changent: on dit que la roche recrystallise.

L'étude des variations de la composition minéralogique et de la texture d'une roche s'appelle étude métamorphique, et les minéraux nouvellement cristallisés les minéraux métamorphiques. Le chimisme et l'association des divers minéraux métamorphiques permettent de déterminer les conditions de P-T sous lesquelles une roche a recrystallisé car chaque minéral n'est stable que dans un domaine de pression-température bien déterminé.

Les minéraux métamorphiques – tels que les grenats – en cristallisant, englobent des inclusions (minéraux plus anciens ou nouvellement cristallisés) qui témoignent de l'évolution tectono-métamorphique d'une région. Ces inclusions sont donc préservées par les minéraux métamorphiques mais le plus souvent déformées dans la matrice de la roche.

Les grenats étudiés proviennent de la couverture sédimentaire de la nappe du Monte-Leone, appelée la série d'Holzerspitz (BOLLI *et al.* 1980, CARRUPT 2002, CARRUPT 2003), du nom d'un petit sommet situé sur la rive droite du Binntal. Cette série affleure essentiellement entre le Binntal, le Val Formazza et l'Alpe Devero (**fig. 1**).

La nappe du Monte-Leone fait partie des nappes dites du Pennique inférieur (ESCHER *et al.* 1997, STECK & HUNZIKER 1994). Ces dernières ont été enfouies lors de la culmination alpine à environ 30 kilomètres de profondeur, c'est-à-dire à des températures de l'ordre de 550-600 °C pour une pression d'environ 9.5 kbar (CARRUPT 2002).

Le but de cette note est de présenter succinctement quelques observations.

LES GRENATS

Généralités

Le groupe des grenats, de formule chimique générale $X_3Y_2Si_3O_{12}$, est subdivisé en plusieurs espèces qui représentent les pôles purs des deux séries isomorphiques principales. L'attribution du nom d'un grenat est donc faite selon son pôle pur dominant, les grenats ayant la composition de l'un des pôles purs étant rares. Les pôles purs sont les suivants:

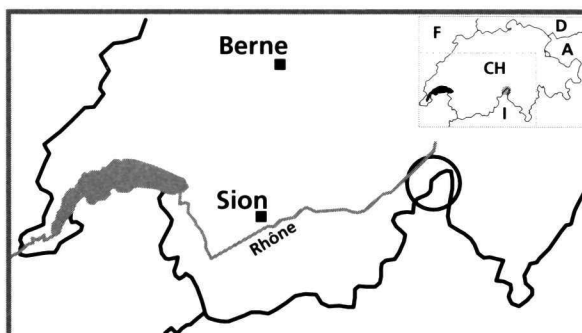


FIGURE 1a – 1b – Situations géographiques du terrain étudié. CI-DESSUS: © SWISS TOPO. GOMS-VAL FORMAZZA, 1:100'000, OFFICE FÉDÉRAL DE LA TOPOGRAPHIE, 28 AVRIL 2004.

- série des grenats calciques :
grossulaire : $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$;
andradite : $\text{Ca}_3(\text{Fe}_3+\text{Ti})_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
uvavorite : $\text{Ca}_3\text{Cr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
- série des grenats alumineux :
pyrope : $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
almandin : $\text{Fe}_3+\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
spessartin : $\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$

L'almandin est le grenat le plus courant bien qu'il contienne le plus souvent une quantité appréciable de molécules de pyrope, de spessartin ou de grossulaire.

La zonation chimique

Bien que généralement uniformément coloré, le grenat est chimiquement zoné, c'est-à-dire que sa composition chimique varie entre son cœur et sa bordure. La distribution du Fe, Mg, Ca et Mn permet donc de déterminer, pour chaque stade de croissance, les conditions P-T sous lesquelles le grenat a cristallisé, et donc les variations

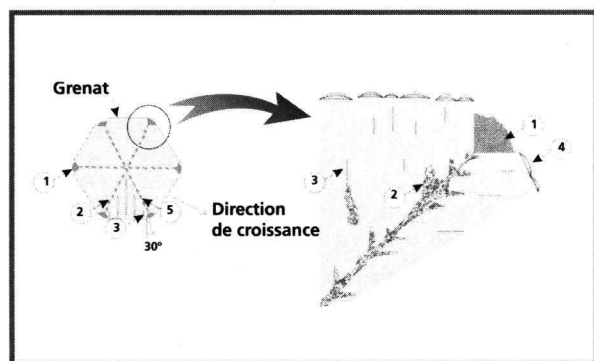


FIGURE 2 – Représentation schématique de textures typiques des grenats :
1 matrice re-entrante,
2 inclusion de type 1,
3 inclusions de type 2,
4 dôme arqué,
5 limite de faces adjacentes («sector boundary»).

de P-T entre le début et la fin de la cristallisation du grenat en accord avec sa zonation chimique et les autres minéraux métamorphiques qui lui sont contemporains tels que la biotite, la chlorite, le staurotide ou l'amphibole (Holland & Powell 1990, 1994).

La zonation texturale

La croissance des minéraux métamorphiques induit une contrainte sur la matrice environnante, qui est repoussée. Ce déplacement («displacement growth» de RICE & MITCHELL 1991) provoque la naissance de petits dômes arqués de graphite (fig. 2) («cleavage dome» de FERGUSON *et al.* 1980) le long des faces idioblastiques du cristal qui croît. La croissance au niveau des angles étant

moins rapide, de la matrice peut être incorporée à cet endroit : on appelle cette texture re-entrant.

Si le porphyroblaste croît rapidement, il peut inclure une partie de la matrice dans son réseau cristallin : ce sont les inclusions de type 1. Ces dernières se localisent préférentiellement à l'intersection entre deux faces adjacentes du cristal qui croît, ou comme inclusions orientées perpendiculairement à une face du cristal qui croît (fig. 2).

Les inclusions de type 2, ou plus précisément les intercroissances de type 2 (BURTON 1986), sont des cristaux cylindriques de quartz allongés qui cristallisent simultanément au porphyroblaste. Ils sont perpendiculaires aux faces du cristal (fig. 2).

LES GRENATS DE LA SÉRIE D'HOLZERSPITZ

Plusieurs lithologies de la série d'Holzerspitze comprennent des grenats. Nous allons nous intéresser uniquement aux micaschistes à grenats et aux nodules qu'ils contiennent, baptisés grenatites (photos 1 et 2, p. 46).

A l'affleurement

Les micaschistes à grenats sont des roches massives et mélanocrates qui ont enregistré au moins deux schistosités pénétratives successives (foliation de la roche induite par de fortes pressions). Lorsque l'orientation des pressions varient, des feuilletages successifs sont enregistrés par la roche (fig. 3).

Le grenat, très dur, dont la taille est souvent centimétrique, forme des boules noires en relief (photo 1, p. 46) moulées dans une matrice riche en micas et quartz.

Les grenatites, dures et de couleur sombre, affleurent essentiellement dans la région de Sabbione, proche de refuge Cesare Mores, mais elles existent sur l'ensemble de la zone étudiée. De forme ellipsoïdale elles ont une taille qui varie de $5 \times 2 \times 1 \text{ cm}^3$ à $30 \times 9 \times 5 \text{ cm}^3$, l'axe le plus long étant aligné avec la schistosité principale enregistrée dans le micaschiste (photo 2, p. 46). Elles constituent, en moyenne, moins de 1 % de la roche.

Le contact entre les grenatites et le micaschiste est soit transitionnel, la grenatite est alors difficile à échantillonner, soit franc, et elle est facilement séparable de la roche. Dans le paragraphe suivant sont décrites :

- 1) la texture microscopique
- 2) la minéralogie de chaque grenat selon sa position, c'est-à-dire :
a) dans le micaschiste;
b) sur le contact micaschiste – grenatite;
c) dans la grenatite.

Au microscope

Les grenats du micaschiste

La minéralogie du micaschiste à grenats est identique dans tous les échantillons (quartz, biotite, muscovite,

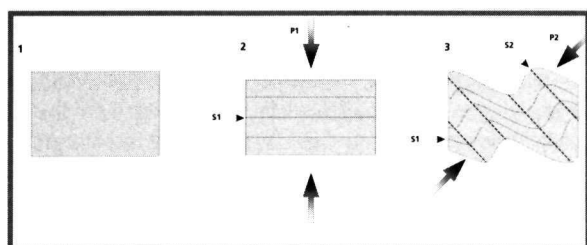


FIGURE 3 – Représentation schématique de la naissance d'une schistosité dans une roche : la pression P1 crée la schistosité S1 et P2 induit S2.

grenat, staurotide, plagioclase). Seul le pourcentage de graphite varie de 0.1% à 3%, et le disthène n'est pas présent dans tous les échantillons. Les grenats sont zonés, texturalement mais aussi chimiquement, la zonation texturale étant mieux développée dans les micaschistes ayant le pourcentage de graphite le plus élevé. La taille des grenats est, en moyenne, plus grande dans les micaschistes moins riches en graphite (photo 1), mais sa zonation texturale est peu à pas développée. Le grenat incorpore des inclusions de quartz de type 1.

Les grenats, idioblastiques, et d'un diamètre généralement compris entre 1.5 cm et 2 cm (fig. 4 et photo 3, p. 50), sont divisibles en deux parties : la partie centrale, pauvre en inclusions, et la partie externe avec une densité élevée d'inclusions, essentiellement du graphite et peu de quartz. La transition est franche, mais irrégulière et simule une texture en fleur. La schistosité principale, bien enregistrée autour du grenat, s'atténue et disparaît à l'intérieur de ce dernier.

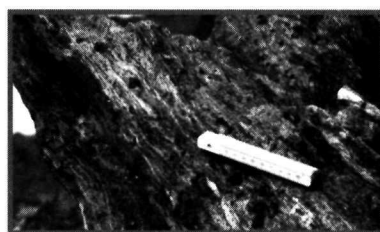


PHOTO 1
Micaschiste à grenats, pauvre en graphite.

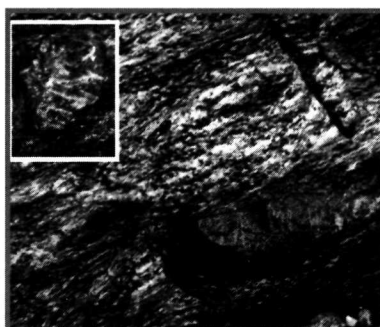


PHOTO 2
Micaschiste à grenats, riche en graphite et un nodule (grenatite) : des disthènes peuvent se développer à l'interface micaschiste-grenatite (encart).

Les grenats du contact micaschiste-grenatite

Les grenats, le plus souvent idioblastiques, ont un diamètre de 0.6 mm de diamètre en moyenne. Ils incorporent beaucoup de graphite sur leur partie extérieure alors que le centre est libre de toute inclusion. Hormis le graphite, pouvant former jusqu'à 50% de la bordure d'une grenatite (photo 4, p. 50), quelques rares biotites et des grains de quartz accompagnent le grenat (photo 5, p. 50). 3 zones texturales ont été identifiées (fig. 5 et photo 6, p. 50).

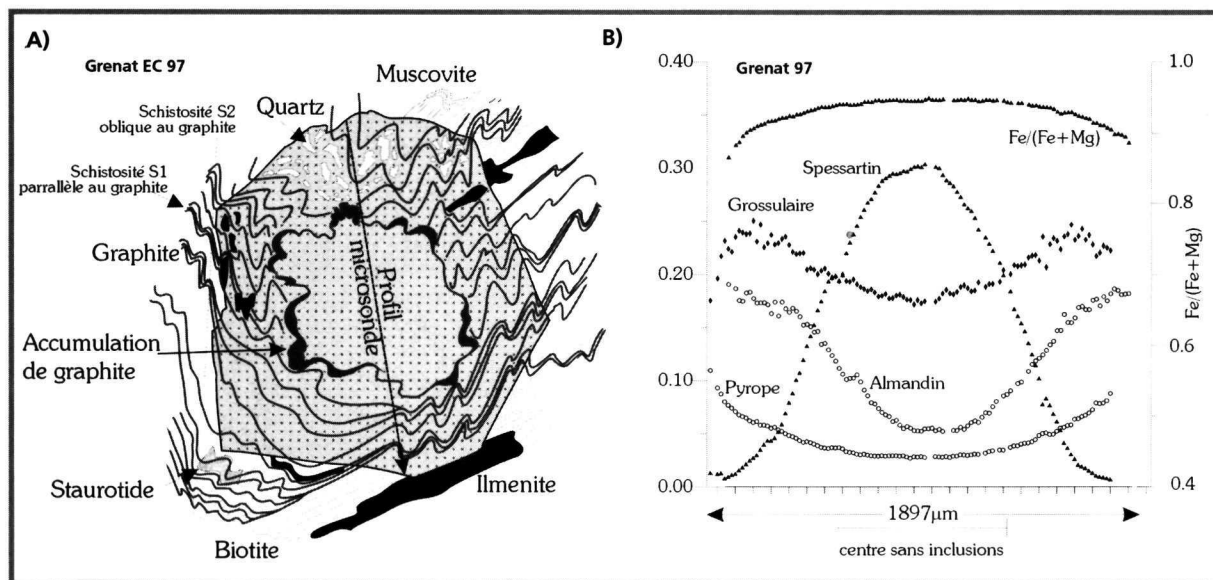


FIGURE 4 – A) grenat EC97 de 2 cm de diamètre, texturalement zoné, avec une texture en fleur (micaschiste récolté aux coordonnées 670°090/141°650); B) profil microsonde dans le grenat EC97.

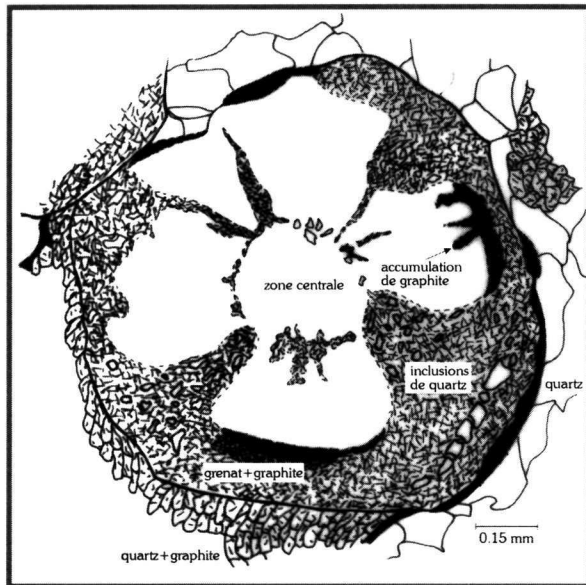


FIGURE 5 – Grenat zoné observé dans l'échantillon EC246 (coordonnée 670'340/141'490): les inclusion de type 1 miment une texture en fleur.

La première partie, ou zone centrale, contient, comme inclusion, uniquement de fines inclusions de type 1 parallèles à la direction de croissance. Comme les faces du grenat croissent plus vite que les coins, la limite externe de la partie interne, peut développer une forme qui ressemble à des pétales de fleurs.

La zone médiane contient du graphite, de forme arquée à proximité de la partie interne. Ce graphite devient aléatoirement orienté vers l'extérieur.

La partie externe, souvent très peu développée, est observée sur l'extérieur des grenats qui sont en contact avec le micaschiste. La bordure externe contient beaucoup d'inclusions de quartz donnant une texture squelettique au grenat. Ces inclusions ont été passivement incorporées par le grenat lors de sa croissance, selon leur orientation préalable dans la matrice.

Les grenats des grenatites

Les grenatites sont principalement composées de grenats accompagnés de quelques quartz, de rares biotites, chlorites et minéraux opaques. Le pourcentage de graphite est localement élevé, mais faible en valeur absolue sur l'ensemble de la grenatite.

Les grenats, de formes diverses (photo 4, p. 50), ont une taille qui excède rarement 1 mm, mais ils sont importants car le grenat contient deux textures, inhabituelles pour un tel environnement tectonique, appelées «displacement growth» (cf. «La zonation texturale», p. 45) et «sector zoning» (RICE & MITCHELL 1991). Ils incorporent beaucoup de graphite pour un grenat, bien qu'en valeur absolue cette valeur soit faible (inférieure à 5%).

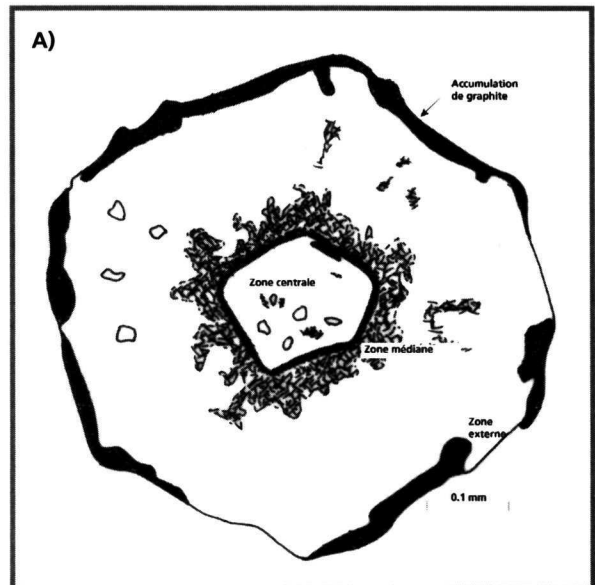
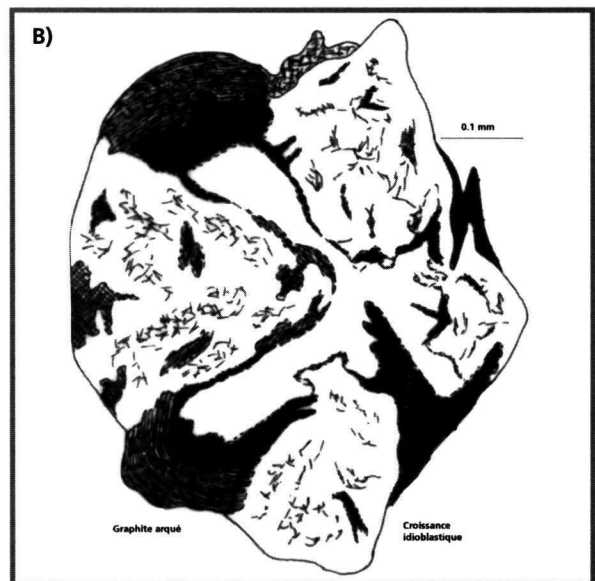


FIGURE 6 – Grenats texturalement zonés provenant : A) du cœur de la grenatite EC253 (670'340/141'490); B) de la grenatite EC111 (670'380/141'810): il est caractérisé par des re-entrants importants qui limitent les zones de grenat sans inclusion de graphite.



Selon leur texture, ils peuvent être subdivisés en trois parties (fig. 6), qui se développent symétriquement, excepté bien sûr où le manque de place les en aurait empêché. Chaque partie correspond à un cycle de croissance durant lequel la matrice est d'abord incorporée puis repoussée. La zone centrale, idioblastique, contient d'abondantes petites inclusions de graphite et probablement de micas, sans orientation préférentielle. La densité des inclusions diminue vers l'extérieur.

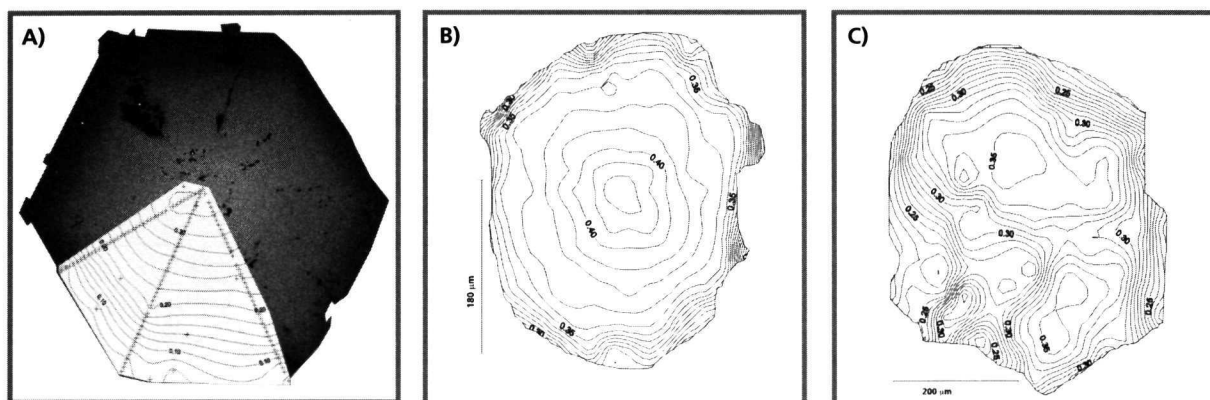


FIGURE 7 – Grenats zonés provenant de la bordure externe d'un nodule : les isolignes représentent le pourcentage en spessartine de :

A) grenat zoné de 1,8 mm de diamètre, échantillon EC253 (670'340/141'490) ;

B) et C) grenats zonés respectivement de 270 µm et 380 µm de diamètre, échantillon EC193 (670'420/141'830).

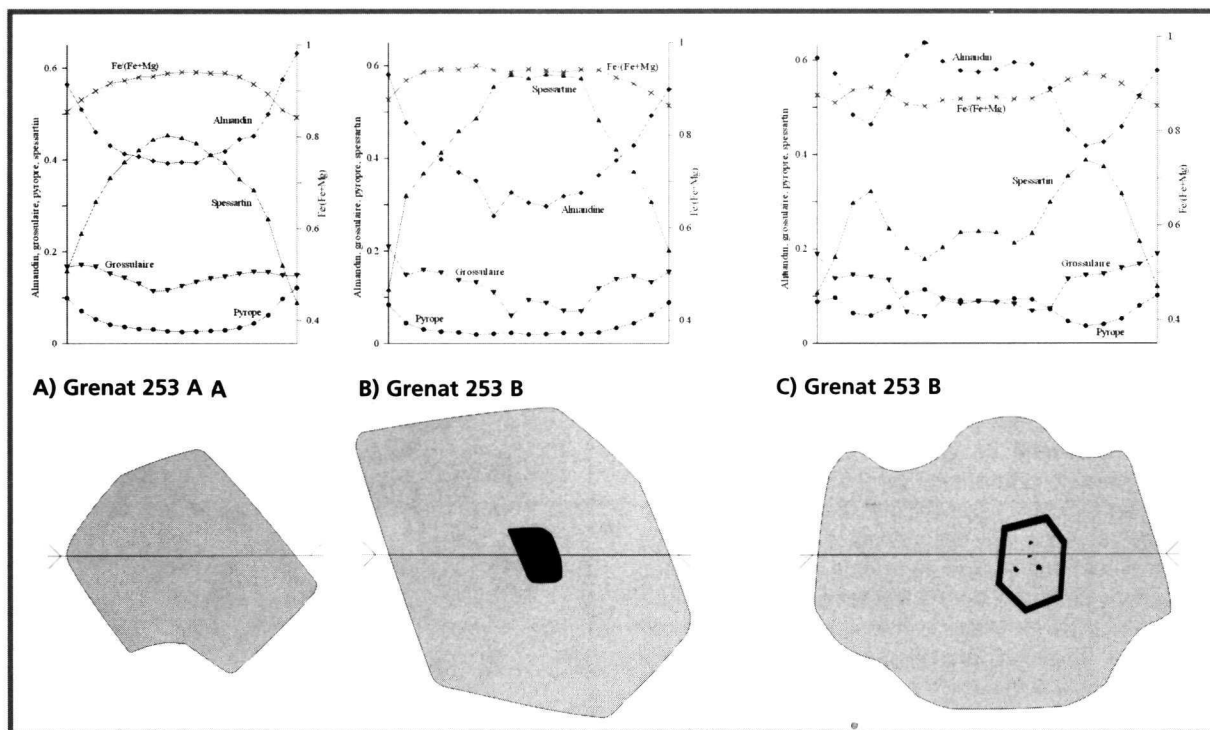


FIGURE 8 – Profils chimiques effectués sur divers grenats – ici schématisés – de la grenatite EC253 (670'340/141'490) pour divers stades de croissances.

Suite à un contact franc, la zone médiane commence avec une accumulation massive de graphite déplacé et incurvé («displacement growth» de RICE & MITCHELL 1991) durant le premier stade de croissance : son épaisseur peut atteindre 0.05 mm. Le grenat incorpore ensuite du graphite, aléatoirement distribué, dont le pourcentage reflète vraisemblablement celui de la roche avant la croissance du grenat. Le pourcentage de graphite diminue alors rapidement vers l'extérieur : les inclusions ont tendance à se

distribuer en bandes d'inclusions, normales à la position des faces, soit parallèles à la direction de croissance, à l'interface des faces adjacentes.

C'est le deuxième stade de croissance ou de «displacement growth».

La troisième zone, ou zone externe, n'est pas toujours présente à cause de la proximité de tous les grenats. Cependant, où elle est présente, elle se reconnaît par une bande de 0.01 mm très riche en graphite, graphite

déplacé lors du deuxième stade de croissance du grenat et recouvert par le troisième stade de croissance.

Investigation à la microsonde

Les variations chimiques des grenats entre le cœur et la bordure ont été étudiées à l'aide de profils microsondes effectués avec la microsonde de type Cameca SX50 de l'Université de Lausanne. Un des buts présenté ici était de déterminer si ces grenats avaient crû de manière continue ou discontinue, et si ils avaient pu se résorber partiellement entre deux stades de croissance, ce qui aurait permis une accumulation locale de graphite.

Les grenats du micaschiste

Sur la **figure 4B** est représenté le profil microsonde typique obtenu dans les grenats des micaschistes. Le grenat est chimiquement zoné. Sa molécule dominante au centre est le spessartin, mais en bordure c'est le grossulaire et l'almandin.

Les molécules de spessartin et le rapport $Fe/(Fe+Mg)$ diminuent progressivement du cœur vers la bordure, alors que les molécules d'almandin et de pyrope augmentent. La molécule de grossulaire a un comportement atypique : elle augmente avant de diminuer.

Toutes ces variations sont continues : il n'y a pas de saut de composition.

Les grenats du contact micaschiste-grenatite

Sur le contact grenatite-micaschiste, les grenats ont certes une texture variable (essentiellement dépendante du pourcentage de graphite incorporé), mais ils ont crû de manière concentrique, quelle que soit leur taille (**fig. 7**).

Le cœur du grenat (**fig. 7A et B**), riche en spessartin, voit le pourcentage de cette molécule diminuer vers l'extérieur.

Cependant, il faut aussi remarquer que lorsque les grenats étaient très serrés, plusieurs centres de cristallisation ont pu fusionner, et terminer leur croissance de façon concentrique. Ils sont incorporés dans un même grenat final (**fig. 7C**).

Les grenats des grenatites

Les profils chimiques (**fig. 8**) effectués sur divers grenats montrent que quels que soient les stades de croissance investigués, les caractéristiques chimiques sont identiques à celles des grenats présents dans le micaschiste ou sur le contact micaschiste-grenatite : la croissance fut continue et concentrique (**fig. 8A et B**).

Par contre, il apparaît aussi que les grenats qui ont préservé les trois stades de croissance (figure 6A et 8C) ont vraisemblablement commencé à cristalliser avant les grenats du micaschiste. En effet, le pourcentage de spessartin et le rapport $Fe/(Fe+Mg)$ varient, comme pour les autres grenats, similairement et inversement au pour-

centage d'almandin mais, il y a cette fois, deux pics successifs, le premier étant situé au centre de grenat. On peut en déduire que les grenats ont enregistré une histoire plus ancienne. L'absence de schistosité pénétrative ne permet malheureusement pas de la corrélérer à un événement ou à un stade de cristallisation précis enregistré par le micaschiste.

DISCUSSION – CONCLUSION

Les schistosités contemporaines de l'orogénèse alpine sont enregistrées dans la matrice des micaschistes et sont faiblement préservées dans la bordure des grenats des micaschistes. Elles ne sont par contre pas enregistrées dans les grenatites, qui ont vraisemblablement été préservées des contraintes alpines : les grenats ont ainsi pu développer de superbes textures qui ne peuvent habituellement se développer dans un tel environnement.

Pourquoi les grenatites ont-elles été préservées des contraintes alpines ? La cause n'est pas clairement déterminée. Les deux observations suivantes permettent de déduire que le graphite y a certainement joué un rôle :

- les grenatites contenant des grenats zonés sont entourées d'une bordure riche en graphite ;
- les grenats zonés ont naturellement expulsés le graphite vers l'extérieur du minéral.

Nous pouvons alors imaginer que le graphite, du fait de sa texture fibreuse, a un double comportement :

- il absorbe les contraintes extérieures : les grenatites ont ainsi été préservées et sont peu ou pas déformées ;
- il se déforme passivement : le grenat qui croît repousse les filaments de graphite le long de ces faces (« displacement growth ») : le graphite adopte alors une structure en fleur.

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements s'adressent à l'Université de Lausanne qui a financé mes années de thèse, dont une partie des résultats minéralogiques est présentée dans cet article. Je remercie également le Dr Hugh Rice de l'Université de Vienne qui m'a initiée au monde fascinant des textures originales des grenats.

BIBLIOGRAPHIE

- ATLAS OF SWITZERLAND (2000), Compact Disc, Federal Office of Topography, Wabern.
- BOLLI, H., BURRI, M., A., ISLER, W., NABHOLZ, PANTIC, N.K. & P., PROBST. 1980. Der nordpenninische Saum zwischen Westgrau-bünden und Brig. *Eclogae geol. Helv.*, 73/32, pp. 779-797.
- K.W., BURTON. 1986. Garnet-quartz intergrowths in graphitic pelites: the role of the fluid phase. *Mineral. Mag.*, 50, pp. 611-620.
- CARRUPT, E. 2002. *Geological and mineralogical study of the High Val Formazza – Binntal area (Central Alps): new stratigraphic, geochemical and structural constraints*. Thesis Univ. Lausanne, 185 p.

- CARRUPT E., MASSON H., ET GOUFFON Y. 2002. The Sabbione metabasalts: new tectonic, stratigraphic and geochemical constraints on a mid-Jurassic volcanic event (Pizzo del Vallone nappe, Central Alps). Science and the Magic Mountain, Annual Meeting of the Swiss Academy of Natural Sciences (SANW) 2002, Abstracts, 17-18.
- CARRUPT E. 2003. *New stratigraphic, structural and geochemical data from the Val Formazza – Binntal area (Central Alps)*. Mém. Géol. Lausanne, 41, 117 p.
- ESCHER A., HUNZIKER J.C., MASSON H., SARTORI M. & STECK A. 1997. Geologic framework and structural evolution of the western Swiss-Italian Alps. In: PFIFFNER O.A., LEHNER P., HEITZMAN P.Z., MUELLER S. AND STECK A. (Eds.), *Deep Structure of the Swiss Alps. Deuticke*, Vienna, pp. 379-406.

- FERGUSON C.C., HARVEY P.K. ET LLOYD G.E. 1980. On the mechanical interaction between a growing porphyroblast and its surrounding matrix. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 75, pp. 339-352.
- HOLLAND T.J.B. ET POWELL R. 1990. An enlarged and updated internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and MgO-MnO-FeO-Fe₂O₃-Al₂O₃-TiO₂-SiO₂-C-H₂-O₂. *J. metamorphic Geol.*, 8, pp. 89-124.
- 1994. Optimal geothermometry and geobarometry. *Amer. Mineral.*, 79, pp. 130-133.
- RICE A.H.N. ET MITCHELL J.I. 1991. Porphyroblast textural sector zoning and matrix displacement. *Mineral. Mag.*, 55/380, pp. 379-396.
- STECK A. ET HUNZIKER J.C. 1994. The tertiary structural and thermal evolution of the central Alps – compressional and extensional structures in an orogenic belt. *Tectonophysics*, 238, pp. 229-254.

ANNEXE

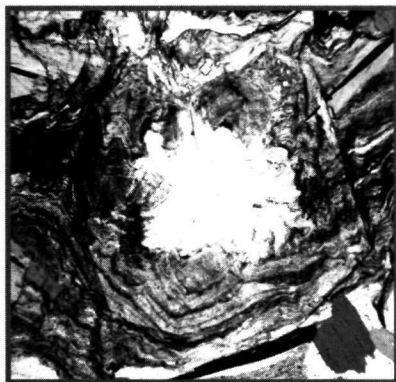


PHOTO 3 – Grenat EC97 d'environ 2 cm de diamètre (cf. figure 4), texturalement et chimiquement zoné.

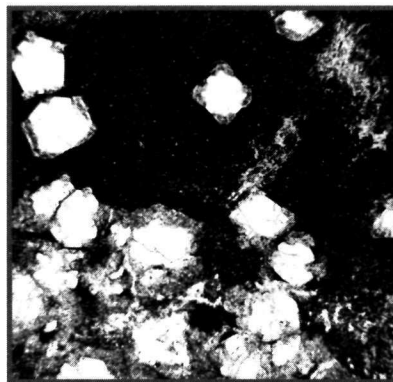


PHOTO 4 – Passage de la partie interne, (bas de la photo) à la partie externe, plus riche en graphite, d'une grenatite (échantillon EC111, 670'380/141'810) (largeur de la photo, environ 10 mm).

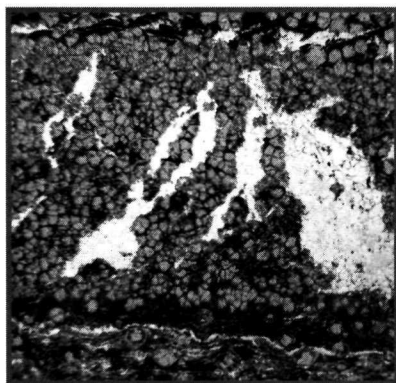


PHOTO 5 – Contact franc entre un nodule et le micaschiste encaissant; la limite est marquée par un niveau riche en graphite, mieux développé sur le haut du nodule (échantillon ECB44, 670'380/141'810) (largeur de la photo, environ 22 mm).



PHOTO 6 – Grenat situé sur le contact entre le micaschiste et la grenatite (échantillon EC246, 670'340/141'490) (largeur de la photo, environ 8 mm).